

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. Februar 2001 (08.02.2001)

PCT

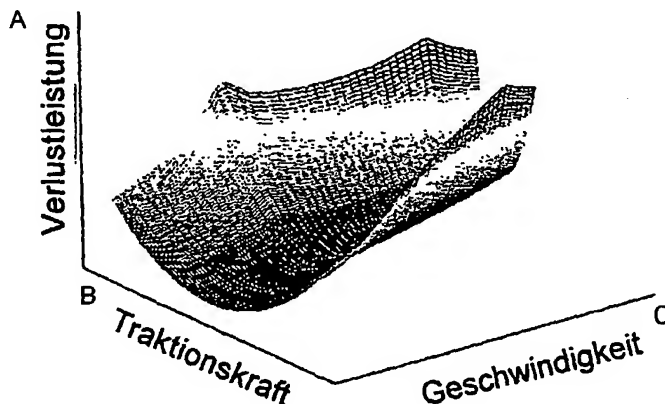
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/08959 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: B61L 3/00 (72) Erfinder; und
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/07152 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FRANKE, Rüdiger
(22) Internationales Anmeldedatum: 26. Juli 2000 (26.07.2000) [DE/DE]; Fritz-Frey-Strasse 2, D-69121 Heidelberg
(25) Einreichungssprache: Deutsch (DE). TERWIESCH, Peter [CH/CH]; Gartenweg
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch 459, CH-5512 Wohlschwil (CH). MEYER, Markus
[CH/CH]; Höchweidstrasse 7, CH-6030 Ebikon (CH).
KLOSE, Christian [DE/DE]; Starweg 28, D-14774 Bran-
denburg a.d. Havel (DE). KETTELER, Karl-Hermann
[CH/CH]; Schwächerstrasse 29, CH-5314 Kleindörligen
(CH).
(30) Angaben zur Priorität: 199 35 351.4 29. Juli 1999 (29.07.1999) DE (74) Anwälte: RUPPRECHT, Klaus usw.; Luderschmidt,
Schüller & Partner, John-F.-Kennedy-Strasse 4, 65189
Wiesbaden (DE).
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): DAIMLERCHRYSLER AG [DE/DE]; Epplerstrasse
225, D-70546 Stuttgart (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR OPTIMIZING THE ENERGY CONSUMPTION OF A MOTOR VEHICLE/TRAIN WITH OPERAT-
ING-POINT DEPENDENT EFFICIENCY

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ENERGIEOPTIMIERUNG BEI EINEM FAHRZEUG/ZUG MIT ARBEITSPUNKTAB-
HÄNGIGEM WIRKUNGSGRAD



A...DISSIPATED ENERGY
B...TRACTIVE FORCE
C...SPEED

(57) Abstract: The invention relates to a method for optimizing the energy consumption of a motor vehicle/train that uses time reserves provided for in a schedule. The aim of the invention is to improve the operating characteristics of said motor vehicle/train in such a manner that energy is saved by using an optimization algorithm. To this end, the correlation between the vehicle efficiency or the dissipated energy and the operating point is taken into consideration.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/08959 A1



(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- *Mit internationalem Recherchenbericht.*
- *Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen.*

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI-Patent

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Verfahren zur Energieoptimierung bei einem Fahrzeug/Zug bei der Benutzung von bei einem Fahrplan eingeplanten Zeitreserven vorgeschlagen. Zur Erzielung einer energiesparenden Fahrweise unter Zuhilfenahme eines Optimierungsalgorithmus wird die Arbeitspunktabhängigkeit des Fahrzeug-Wirkungsgrades oder der Verlustleistung berücksichtigt.

Verfahren zur Energieoptimierung bei einem Fahrzeug/Zug mit arbeitspunkt-
abhängigem Wirkungsgrad

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Energieoptimierung bei einem Fahrzeug/Zug gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei der Planung von Fahrten und der Erstellung von Fahrplänen für den Schienenverkehr werden Zeitreserven für unvorhergesehene Ereignisse und widrige Betriebsbedingungen eingeplant. Da während realer Fahrten die Betriebsbedingungen typischerweise günstiger sind als in der Planung angenommen, werden die dabei entstehenden Zeitreserven für andere Zwecke verfügbar. Eine besonders sinnvolle Benutzung der Zeitreserven besteht in der Einsparung von Energie mittels geeigneter Fahrweise.

Bisher bekannte und verwendete Verfahren zur Energieminimierung basieren meist auf der Annahme, daß eine Fahrweise, bestehend aus den Bestandteilen Maximalbeschleunigung - Fahrt bei konstanter Geschwindigkeit - Ausrollen - Maximalverzögerung energieoptimal ist. Hierbei wird die mechanische Traktionsenergie, die zur Beschleunigung des Fahrzeuges benötigt wird, minimiert. Für Nachweise wird ein lineares dynamisches Zugmodell verwendet, insbesondere wird kein Term berücksichtigt, der den quadratischen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Fahrwiderstand beschreibt.

Bei der DD 255 132 A1 wird diese Grundannahme um die Unterteilung einer Gesamtstrecke in mehrere Abschnitte erweitert, so daß in jedem Abschnitt der Neigungswiderstand der Strecke konstant ist.

Bei der EP 0 467.377 B1 wird eine Unterteilung der Gesamtstrecke in mehrere Abschnitte in der Art eingeführt, daß in jedem Abschnitt die zulässige Maximalgeschwindigkeit konstant ist. Die aus den Bestandteilen Maximalbeschleunigung - Fahrt bei konstanter Geschwindigkeit -

Maximalverzögerung bestehende Fahrweise wird in jedem Abschnitt wiederholt. Es wird also auf das Ausrollen verzichtet.

Bei der EP 0 755 840 A1 wird kein konkretes Verfahren zur Energieoptimierung beschrieben, sondern vielmehr eine generelle Systemstruktur erläutert, womit auch eine Energieoptimierung realisiert werden kann. Ein Zyklus, bestehend aus Beschleunigung - Fahrt bei konstanter Geschwindigkeit - Verlangsamung und Bremsung wird als Beispiel angeführt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zur Energieoptimierung hinsichtlich der bei einem Fahrplan eines Fahrzeugs/Zuges eingeplanten Zeitreserven anzugeben.

Diese Aufgabe wird in Verbindung mit dem Oberbegriff durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Der mit der Erfindung erzielbare Vorteil besteht insbesondere darin, daß durch die Berücksichtigung der Arbeitspunktabhängigkeit des Fahrzeug-Wirkungsgrades beim Optimierungsalgorithmus anstatt der mechanischen Traktionsenergie die primär eingesetzte Energie, wie z.B. die elektrische Energie bei elektrischen Schienenfahrzeugen, minimiert wird.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist im Unteranspruch gekennzeichnet.

Weitere Vorteile des vorgeschlagenen Verfahrens ergeben sich aus der nachstehenden Beschreibung.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1, 2 Kennfelder der Verlustleistung von typischen elektrischen Lokomotiven,

Fig. 3 einen beispielhaften Geschwindigkeitsverlauf bei konstant angenommenem Fahrzeugwirkungsgrad sowie Maximalgeschwindigkeit,

Fig. 4 einen beispielhaften optimalen Geschwindigkeitsverlauf bei Berücksichtigung der Arbeitspunktabhängigkeit des Fahrzeugwirkungsgrads sowie Maximalgeschwindigkeit,

Der Fahrzeugwirkungsgrad ist der Quotient aus der bereitgestellten Traktionsleistung - der Ausgangsleistung - und der dazu benötigten Eingangsleistung, insbesondere der elektrischen Leistung, die von einer elektrischen Lokomotive über einen Pantographen gezogen wird. Die Differenz zwischen Eingangsleistung und der Ausgangsleistung ist die Verlustleistung des Fahrzeuges.

Erfindungsgemäß wird vorgesehen, daß die Arbeitspunktabhängigkeit des Wirkungsgrades in die bzw. zur Energieoptimierung hinsichtlich der bei einem Fahrplan eines Fahrzeugs/Zuges eingeplanten Zeitreserven einbezogen wird, da eine Berechnung mit konstant angenommenem Wirkungsgrad nur eine schlechte Annäherung an das tatsächliche Optimum darstellt. Dabei wird das Problem der Energieminimierung als mathematisches Optimierungsproblem formuliert und mit einem geeigneten, allgemein bekannten Optimierungsalgorithmus gelöst.

Für das vorgeschlagene Verfahren geeignete Optimierungsalgorithmen sind beispielsweise aus Papageorgiou: Optimierung, Kapitel 10, 19 und insbes. 20, Oldenbourg Verlag, 1996, bekannt.

Die Berücksichtigung der Arbeitspunktabhängigkeit des Wirkungsgrades kann über eine Funktion des Wirkungsgrades oder der Verlustleistung in Abhängigkeit von wichtigen Einflußgrößen, wie insbesondere Traktionskraft und/oder Geschwindigkeit und/oder Temperatur erfolgen. In den Figuren 1 und 2 sind hierzu Kennfelder der Verlustleistung von typischen elektrischen Lokomotiven gezeigt. Ein solches dreidimensionales Kennfeld der Verlustleistung in Abhängigkeit von der Traktionskraft und der Geschwindigkeit ist eine typische Darstellungsmöglichkeit der Arbeitspunktabhängigkeit des Wirkungsgrades.

Fig. 3 zeigt als Fahrschaubild einen beispielhaften Weg/Geschwindigkeitsverlauf - siehe durchgezogene Kurve - bei konstant angenommenem Fahrzeugwirkungsgrad sowie Maximalgeschwindigkeit in den einzelnen Streckenabschnitten - siehe gestrichelte Kurve. Die dargestellte Fahrweise setzt sich aus den bekannten Bestandteilen zusammen, wobei diese in jedem Teilabschnitt mit konstanter Geschwindigkeitsbegrenzung wiederholt angewendet werden. Diese bekannten Bestandteile sind im wesentlichen Maximalbeschleunigung, Auslauf und Bremsung im ersten Abschnitt, gefolgt von „Fahren mit konstanter Geschwindigkeit“ in der Langsamfahrstrecke, gefolgt von Maximalbeschleunigung und dem Wechsel zwischen Auslaufen und Bremsen zum Anhalten.

Fig. 4 zeigt im Vergleich hierzu als Fahrschaubild (und entsprechend dem Kennfeld gemäß Fig. 1 ermittelt) einen beispielhaften optimalen Geschwindigkeitsverlauf - siehe durchgezogene Kurve - bei Berücksichtigung der Arbeitspunktabhängigkeit des Fahrzeugwirkungsgrads sowie Maximalgeschwindigkeit - siehe gestrichelte Kurve. Die dargestellte optimale Fahrweise unterscheidet sich deutlich von Fahrweisen, die mit bisher bekannten Verfahren (siehe Fig. 3) ermittelt werden können. Insbesondere kommt beim dargestellten Ausführungsbeispiel eine reduzierte Beschleunigung zum Einsatz, die fließend in das Bremsen übergeht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Energieoptimierung bei einem Fahrzeug/Zug bei der Benutzung von Zeitreserven, welche bei einem Fahrplan eingeplant sind, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzielung einer energiesparenden Fahrweise unter Zuhilfenahme eines Optimierungsalgorithmus die Arbeitspunktabhängigkeit des Fahrzeug-Wirkungsgrades oder der Verlustleistung berücksichtigt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Berücksichtigung der Arbeitspunktabhängigkeit des Fahrzeug-Wirkungsgrades oder der Verlustleistung über eine Funktion des Wirkungsgrades oder der Verlustleistung in Abhängigkeit von Einflußgrößen, wie Traktionskraft und/oder Geschwindigkeit und/oder Temperatur erfolgt.

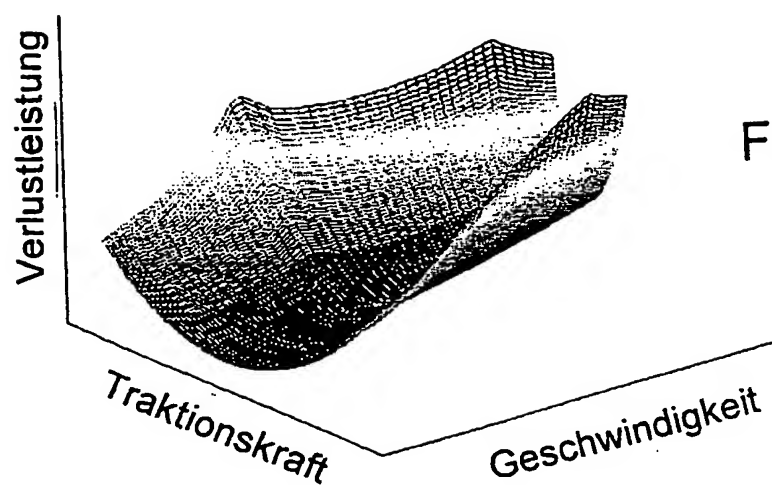


Fig. 1

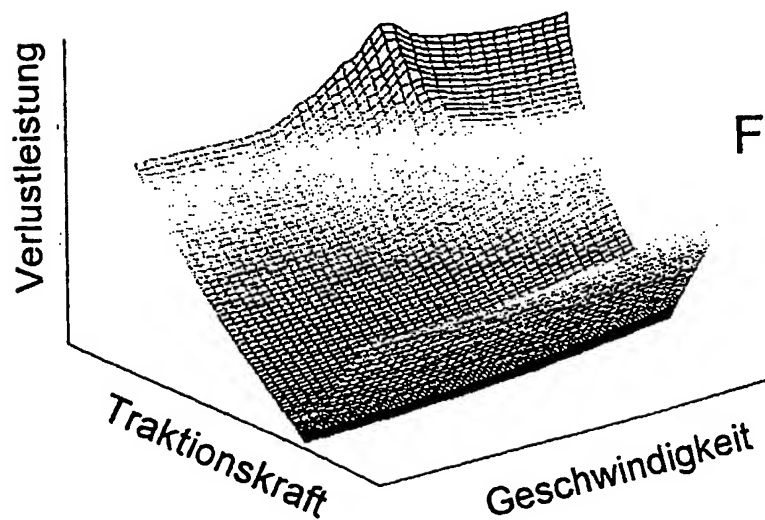


Fig. 2

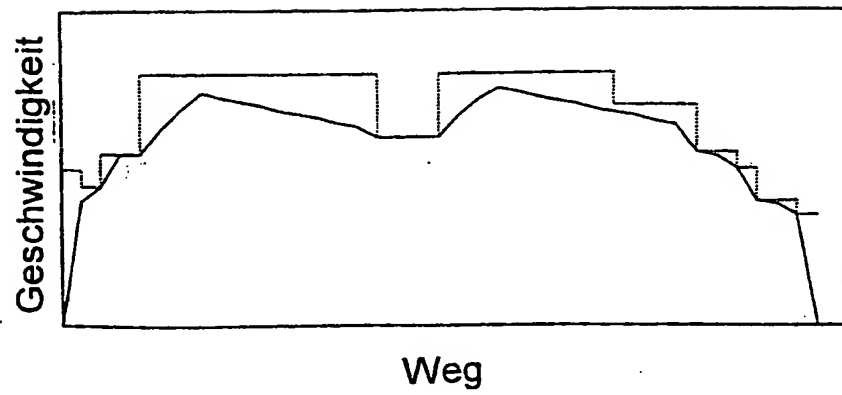


Fig. 3 (Stand der Technik)

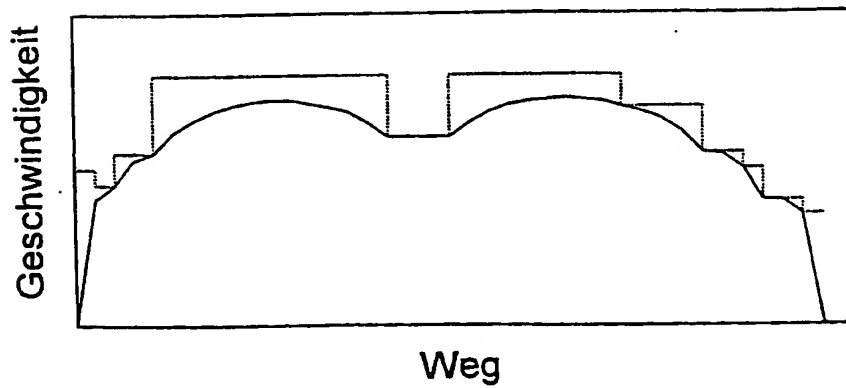


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 00/07152

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 B61L3/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 B61L B60L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DD 236 705 A (VERKEHRSWESEN FORSCH INST) 18 June 1986 (1986-06-18) the whole document	1
A	DD 208 324 A (HORN PETER; WINKLER AXEL; GROSSE SEBASTIAN) 2 May 1984 (1984-05-02) the whole document	1
A	DD 129 761 A (HORN PETER; WINKLER AXEL) 8 February 1978 (1978-02-08) the whole document	1
A	DD 266 539 A (ZENTRALES FI DES VERKEHRS WESE) 5 April 1989 (1989-04-05) the whole document	1
-/--		



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 December 2000

Date of mailing of the international search report

21/12/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Reekmans, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter. Appl. No.

PCT/EP 00/07152

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DD 262 836 A (VERKEHRSWESSEN FORSCH INST) 14 December 1988 (1988-12-14) the whole document -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 00/07152

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DD 236705	A	18-06-1986	NONE	
DD 208324	A	02-05-1984	NONE	
DD 129761	A	08-02-1978	NONE	
DD 266539	A	05-04-1989	NONE	
DD 262836	A	14-12-1988	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/07152

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 B61L3/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B61L B60L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DD 236 705 A (VERKEHRSWESEN FORSCH INST) 18. Juni 1986 (1986-06-18) das ganze Dokument	1
A	DD 208 324 A (HORN PETER;WINKLER AXEL; GROSSE SEBASTIAN) 2. Mai 1984 (1984-05-02) das ganze Dokument	1
A	DD 129 761 A (HORN PETER;WINKLER AXEL) 8. Februar 1978 (1978-02-08) das ganze Dokument	1
A	DD 266 539 A (ZENTRALES FI DES VERKEHRS WESE) 5. April 1989 (1989-04-05) das ganze Dokument	1
	--- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. Dezember 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/12/2000

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5618 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Reekmans, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/07152

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DD 262 836 A (VERKEHRSWESEN FORSCH INST) 14. Dezember 1988 (1988-12-14) das ganze Dokument -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/07152

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DD 236705	A	18-06-1986	KEINE	
DD 208324	A	02-05-1984	KEINE	
DD 129761	A	08-02-1978	KEINE	
DD 266539	A	05-04-1989	KEINE	
DD 262836	A	14-12-1988	KEINE	